



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

**INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À
PENETRAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA DE AÇÚCAR
SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE COLHEITA**

JOSÉ AUGUSTO CAVALCANTE NETO

Areia - PB

2018

JOSÉ AUGUSTO CAVALCANTE NETO

**INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À
PENETRAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA DE AÇÚCAR
SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE COLHEITA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
da Paraíba como requisito parcial
para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.

Areia - PB

2018

**Catálogo na publicação Seção de
Catálogo e Classificação**

N469i Neto, José Augusto Cavalcante.

INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À
PENETRAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA DE AÇÚCAR SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE COLHEITA / José Augusto
Cavalcante Neto. - Areia, 2018.
41 f. : il.

Orientação: Flávio Pereira Oliveira.
Monografia (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Geotecnologia. 2. Compactação do solo. 3. Colheita
da cana-de-açúcar. I. Oliveira, Flávio Pereira. II.
Título.

UFPB/CCA-AREIA

JOSÉ AUGUSTO CAVALCANTE NETO

**INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DA RESISTÊNCIA DO SOLO À
PENETRAÇÃO EM ÁREAS CULTIVADAS COM CANA DE AÇÚCAR
SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE COLHEITA**

Aprovado em: 09 de Julho de 2018

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Flávio Pereira de Oliveira, Dr.

DSER/CCA/UFPB

Orientador

Josevaldo Ribeiro Silva, Msc.

Doutorando do PPGCS/UFRPE

Examinador

Maíra da Cunha Souza, Msc.

Examinador

Aos meus pais Carlos Augusto e Patrícia Coelho, por sempre me incentivar nos objetivos de vida com todo apoio e companheirismo necessário.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Toda gratidão a Deus por tudo que aconteceu em minha vida.

A meus pais por todo esforço feito e meu avô Raimundo Coelho e Avó Maria Batista por todo carinho e incentivo para que me tornasse engenheiro agrônomo.

A minha família, tias, tios, primos, Primas e cunhado por todo carinho e apoio.

A minha irmã Priscilla Augusta, por sempre estar ao meu lado.

Aos meus amigos e amigas de infância que sempre incentivaram, Dimas Monteiro, Fabio Coelho, João Maria, Savio Marques, Jean Máximo, Manoel Celino, Gloria Monteiro, Sandra Fernandes, Léo (Miudinho) e a toda turma que se encontra aos sábados na Mercearia do manel (maluco dos malucos), Erinalba (Dalua), Rubiany Farias e a todos amigos que fazem parte da minha vida.

Aos meus amigos que nessa universidade fiz, Eugênio (Ceara), José Gabriel (Zé das cachorras), Lucilo José (Lulu M.), Caio César (Cocão), Raphael Jovino, Alisson Duarte (Cara de Grilo), Diogo Danilo (Super Man), Bruno Henrique (Melancia), José Manoel (Sangue de bode), Thomas Ferraz, Ronald Muniz (Cansadinho), Samuel Curota, Saulo Junior (Tranzão), José Lourival (pangola), Islaumax (longe de banho), Alicia Nayana e Nerianne Lima. Todos os outros inúmeros amigos que fizeram parte dessa jornada.

Ao orientador e professor, Flávio Pereira, por toda paciência, dedicação e ajuda durante todo o período em que passei sob sua orientação.

Agradeço a minha amiga Maíra por sua paciência, e determinação para me ajudar nesse trabalho, que tem 100% de sua contribuição.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL	3
2.1. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Cenário da Cana-de-Açúcar	4
3.2 Condições de colheita e influência nos atributos físicos	6
3.3 Atributos físicos e compactação de solo em área sob colheita manual e mecanizada em solo Paraibano do tipo Argissolo ascinzentado	7
4. MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1. Local e solo	10
4.2. Amostragem da área	11
4.3- Caracterização física do solo	12
4.3.1. Análise granulométrica do solo	12
4.3.2. Argila dispersa em água e grau de floculação	12
4.3.3. Densidade e porosidade total do solo	13
4.3.4. Resistência a penetração	13
4.3.5. Umidade gravimétrica do solo	14
4.3.6. Geração de mapas	14
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
6. CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	28

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização granulométrica, argila dispersa em água (argila natural), grau de floculação e classificação textural para as áreas de colheita manual; mecanizada; manual e mecanizada de cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros da paraíba. **15**
- Tabela 2.** Valores de densidade do solo, densidade de partícula e porosidade total para as áreas de colheita manual; mecanizada; manual e mecanizada de cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros da Paraíba. **17**
- Tabela 3.** Umidade gravimétrica do solo para as áreas de colheita manual; mecanizada; manual e mecanizada de cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros da Paraíba. **26**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Localização das áreas de coletas contidas nas Fazendas Maria da Luz I e Santa Emília II	10
Figura 2.	Distribuição dos pontos de amostragem em malha regular	11
Figura 3.	Área de cana-de-açúcar com destaque para entrelinhas de plantio	12
Figura 4.	Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (0 – 30 cm) para a área de colheita manual	20
Figura 5.	Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (31 – 60 cm) para a área de colheita manual.	21
Figura 6.	Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (0 – 30 cm) para a área de colheita mecanizada.	22
Figura 7.	Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (31 – 60 cm) para a área de colheita mecanizada	23
Figura 8.	Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (0 – 30 cm) para a área de colheita manual e mecanizada	24
Figura 9.	Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (31 – 60 cm) para a área de colheita manual e mecanizada	25

CAVALCANTE, J. A. C. N. **interpolação espacial da resistência do solo à penetração em áreas cultivadas com cana de açúcar sob diferentes condições de colheita**. Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, julho de 2018. 31f. (Monografia – Curso de Agronomia). Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

RESUMO

A Paraíba, dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), demonstram que nos últimos dez anos o estado vem se mantendo como o terceiro maior produtor de cana-de-açúcar dentre os estados nordestinos, estando inferior à Pernambuco e Alagoas. Na safra 2017/2018 a área plantada foi de 110,3 mil hectares, com produção de 5.764,26 mil toneladas (ASPLAN, 2018). Dalchiavon et al. (2014) afirma que a cultura se constitui da principal matéria prima para a fabricação do etanol usado como biocombustível, além da produção de açúcar, produto de importante exportação do Brasil. Neste sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a interpolação espacial de resistência e a penetração em área cultivada com cana de açúcar sob diferentes condições de colheita nos tabuleiros costeiros no estado da Paraíba. O estudo foi realizado em três áreas de produção de cana-de-açúcar na Fazenda Santa Emília II, pertencente à Usina Miriri e Bioenergia S/A, localizada no município de Rio Tinto e a terceira na Fazenda Maria da Luz I, situada entre os municípios de Capim, Santa Rita e Sapé, estado da Paraíba. Na ordem de solo foram selecionadas três áreas de diferentes condições de uso: I. Colheita manual – segundo corte, II. Colheita mecanizada – segundo corte e III colheita manual e mecanizada. As coletas se procederam em parcelas de 100 x 100 m, sob grid de amostragem de 40 x 40 m, contemplando linhas e entrelinhas de plantio, sendo cada ponto de cruzamento da malha amostral georreferenciado, e levantada a sua resistência mecânica à penetração com auxílio de um penetrômetro de impacto na profundidade de 0-0,6 m, foi procedida coleta de amostra deformadas e indeformadas nas profundidades de 0-0,1 e 0,1-0,2 m para análises das seguintes variáveis: Textura, Argila dispersa em água, grau de floculação, Densidade do solo e Porosidade total. As análises foram realizadas no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solo e Engenharia Rural, da Universidade Federal da Paraíba - DSER/CCA/UFPB. Os valores de resistência à penetração são variáveis de acordo com as profundidades, geralmente, nas camadas subsuperficiais é aquelas que sofrem com efeito do tráfego de máquinas. A área de colheita manual (CMA) apresentou os maiores valores de RP dentre as três áreas estudadas. As áreas de colheita mecanizada (CME) e manual e mecanizada (CMM) seguiram padrão similar, apresentando baixa RP nas camadas subsuperficiais, com valores crescentes em profundidades maiores e os valores de RP não demonstraram a ocorrência de zonas compactadas, consideradas impeditivas ao crescimento radicular. Considerando a textura arenosa dos solos estudados, os valores obtidos para RP não são considerados críticos, ou seja, não interferem negativamente no desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar.

Palavras chave: geotecnologia, compactação do solo, colheita da cana-de-açúcar.

CAVALCANTE, J. A. C. N. **Spatial interpolation of soil resistance to penetration in areas cultivated with sugarcane under different harvest conditions.** Areia - PB, Agricultural Science Center, UFPB, July 2018. 31f. (Monography - Course of Agronomy). Advisor: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

ABSTRACT

The Paraíba, data from Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) show that in the last ten years the state has remained the third largest producer of sugarcane among the Northeastern states, being lower than Pernambuco and Alagoas. In the 2017/2018 harvest the area planted was 110.3 thousand hectares, with production of 5.764.26 thousand tons (ASPLAN, 2018). Dalchiavon et al. (2014) states that culture is the main raw material for the production of ethanol used as biofuel, in addition to the production of sugar, a product of important export in Brazil. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the spatial interpolation of resistance and the penetration in sugarcane cultivated area under different harvesting conditions in the coastal trays in the state of Paraíba. The study was carried out in three areas of sugarcane production at Fazenda Santa Emília II, belonging to the Miriri and Bioenergia S / A Plant, located in the municipality of Rio Tinto and the third at Fazenda Maria da Luz I, located between the municipalities of Capim, Santa Rita and Sapé, state of Paraíba. In order of soil, three areas of different conditions of use were selected: I. Harvesting manual - second cut, II. Mechanized harvesting - second cutting and harvesting III manual and mechanized. The samples were taken in plots of 100 x 100 m, under a sampling grid of 40 x 40 m, including lines and planting lines, with each crossing point of the georeferenced sample mesh, and its mechanical resistance to penetration with the aid of an impact penetrometer at the depth of 0-0.6 m, deformed and undisturbed samples were collected at depths of 0-0.1 and 0.1-0.2 m for analyzes of the following variables: Texture, Clay dispersed in water, flocculation degree, soil density and total porosity. The analyzes were carried out at the Soil Physics Laboratory, Department of Soil and Rural Engineering, Federal University of Paraíba - DSER / CCA / UFPB. The values of resistance to penetration are variable according to the depths, generally, in the subsurface layers are those that suffer with effect of the traffic of machines. The manual harvest area (CMA) presented the highest RP values among the three areas studied. Mechanical and mechanized harvesting areas (CME) followed a similar pattern, presenting low RP in the subsurface layers, with increasing values at higher depths, and RP values did not demonstrate the occurrence of compacted zones considered as impeditive to root growth. Considering the sandy texture of the studied soils, the values obtained for PR are not considered critical, that is, they do not negatively interfere in the development of the root system of the sugarcane

Keywords: geotechnology, compaction of the soil, harvesting of sugarcane

1. INTRODUÇÃO

A Paraíba, dados da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), demonstram que nos últimos dez anos o estado vem se mantendo como o terceiro maior produtor de cana-de-açúcar dentre os estados nordestinos, estando inferior à Pernambuco e Alagoas. Na safra 2017/2018 a área plantada foi de 110,3 mil hectares, com produção de 5.764,26 mil toneladas (ASPLAN, 2018). Área colhida de cana-de-açúcar é destinada à atividade sucroalcooleira brasileira. Dalchiavon et al. (2014) afirma que a cultura se constitui da principal matéria prima para a fabricação do etanol usado como biocombustível, além da produção de açúcar, produto de importante exportação do Brasil. O Brasil se destaca como maior produtor mundial, aproximadamente 39% da produção, seguido pela Índia, Tailândia e Paquistão (FAO, 2014). No Brasil o setor sucroenergético nos últimos anos recebeu relevantes avanços tecnológicos, modificando a dinâmica desse setor e resultando em expansão do cultivo e ganhos de produtividade. O estado de São Paulo é responsável por cerca de 60% de toda área produzida com cana-de-açúcar que é destinada à geração de álcool e açúcar (CONAB, 2018).

Para melhoria da colheita estão sendo utilizadas máquinas, já que o corte manual da cana de açúcar é um sistema utilizado a muito tempo atrás e pode provocar danos ao meio ambiente, onde a prática da queima antes da colheita é contestada por emitir gases que tem efeito negativo a atmosfera, provocando poluição do solo, a degradação de mananciais, problemas na qualidade de vida dos meios urbanos próximos às plantações, (CAVALIERE, 2011; CARVALHO, 2011). Portanto com maior utilização da colheita mecanizada, a qual vem substituindo a colheita manual da cana, traz maior velocidade na operação e eficiência nos métodos utilizados para produção.

O corte manual será reduzido em área de cana de açúcar aonde deverá ser substituída pela colheita mecanizada, em virtude do aumento da área plantada, fator que vem a acelerar o processo de mecanização da colheita (COSTA NETO, 2006) adverte que a mecanização da colheita de cana é inevitável, já que uma colhedora de cana equivale a 100 cortadores, podendo chegar a um rendimento de 500 a 600 t h⁻¹ comparada a 5 a 6 t dia⁻¹ por pessoa. Entretanto, tal sistema provoca uma intensa degradação da qualidade física do solo, devido ao tráfego repetitivo de

máquinas de grande porte, ocasionando a deterioração de sua estrutura, provocando, assim, o processo de compactação do solo (IAIA, 2006).

Se por um lado a queima da cana-de-açúcar acarreta em grandes prejuízos em termos de melhor qualidade do solo (CENTURION et al., 2007) e do ar (CAMPOS, 2003), em contrapartida quando colhida crua, promove o acúmulo de material orgânico na superfície do terreno e melhora a qualidade física e química do solo (CANELLAS et al., 2003; SOUZA et al., 2005), porém, o uso de maquinário de grande porte para colheita em condições inadequadas com tráfego repetitivo pode resultar em uma série de alterações das propriedades físicas do solo (SEVERIANO et al., 2008). Há preocupação com relação aos problemas ocasionados pela compactação do solo resultante das operações mecanizadas (SILVA & CABEDA, 2006). As colheitas alteraram os valores da densidade do solo, a macroporosidade e a estabilidade de agregados até a profundidade de 0,3 m. Braunack et al. 2006 verificaram redução da compactação e aumento da produtividade da cultura em áreas com controle de tráfego. Os benefícios resultantes de menor compactação podem atingir também a produtividade e o ganho econômico.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a interpolação espacial de resistência e a penetração em área cultivada com cana de açúcar sob diferentes condições de colheita nos tabuleiros costeiros no estado da Paraíba.

2.1. Objetivos específicos

- Caracterizar variáveis físicas do solo, tais como textura e densidade do solo;
- Comparar a densidade do solo sob cultivo em fase inicial e com histórico de mecanização;
- Avaliar a compactação do solo sob cultivo manual de cana-de-açúcar com segundo corte mecanizado e com os dois tipos de cultivos (manual e mecanizado);

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Cenário da Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) provém do território asiático sua forma de produção era feita quase toda manual e cultivada geralmente em países tropicais e subtropicais. No Brasil, a história da cana de açúcar teve seu início em 1500 pelos portugueses na colonização a quase cinco séculos, com o intuito de levar açúcar para a Europa e colonizar o país (SACHS; MARTINS, 2007). Uma cultura que se caracterizam por apresentar duas estações bem diferenciadas, uma de altas temperaturas e a outra úmida, que possibilitam a evolução germinativa, a rebentação e o progresso do vegetal.

O agronegócio da cana-de-açúcar é um dos setores que mais gera empregos no Brasil, sendo responsável por cerca US\$ 20 bilhões ano⁻¹ (CONAB, 2016). De acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA 2012) dentre os principais produtos das exportações agrícolas brasileiras, o setor sucroenergético só ficou atrás da cultura da soja. Nos últimos 35 anos o setor experimentou seu mais impressionante salto de produção e produtividade com base nos processos tecnológicos.

Além de ser uma das principais culturas do mundo tem sua produção em aproximadamente 1700 milhões de toneladas que são produzidas anualmente em 24 milhões de hectares em todo o mundo, em mais de 100 países, e representa uma importante fonte de renda no meio rural nesses países. Apesar desta distribuição mundialmente do seu cultivo, cerca de 80% da produção do planeta estão concentradas em países como Brasil, Índia, China, México, Tailândia, Paquistão, Colômbia, Austrália, Indonésia, Estados Unidos, entre outros. Brasil e a Índia aparecem como produtores de mais da metade de toda produção mundial, sendo a cana-de-açúcar produzida por pequenos e grandes produtores (NOVA CANA, 2017).

O setor sucroenergético brasileiro está em um de seus melhores momentos, a produção sofreu importantes modificações com a expansão do cultivo da cana de açúcar e a adequação das estratégias adotadas pelas indústrias, com isso a produção brasileira teve grande crescimento chegando a estabelecer programas que incentivasse a produção de álcool (NOVA CANA, 2017).

A produção de cana de açúcar deve atingir um patamar de 633,26 milhões de

toneladas na safra 2017/2018, uma queda de 1,7% comparada à safra 2015/2016, que alcançou a produção de 657,18 milhões. A área colhida também sofreu decréscimo de 3,6%, devido a desistência e devolução de terras por fornecedores que estão localizados em áreas de difícil acesso que impossibilita a mecanização (CONAB, 2017). Porém o melhor uso da terra junto com a tecnologia empregada no campo melhorou a produtividade (PRORENOVA, 2017).

Em termos regionais, o Brasil apresenta dois períodos distintos de safra: de setembro a março no Norte-Nordeste, e de abril a novembro no Centro-Sul. Assim, o país produz etanol durante praticamente o ano todo, apesar de a produção de etanol na região Norte-Nordeste ser de apenas 10% do total nacional, que foi de 22,5 bilhões de litros em 2007. As maiores destilarias do estado de São paulo produzem aproximadamente 85 litros de etanol anidro por tonelada de cana. As usinas têm produção em torno de 71 kg de açúcar e 42 litros de etanol para cada tonelada de cana processada (COMPRERURAL, 2017).

No Nordeste, a cana-de-açúcar ocupa uma área estimada de 10.000.000 ha dos Tabuleiros Costeiros, o que corresponde a aproximadamente 16% da área total da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará, onde a topografia, a profundidade e a textura dos solos são favoráveis ao cultivo da cultura (PACHECO; CANTALICE, 2011; SOUZA et al., 2001). Sendo áreas de grande importância socio econômica, devido à proximidade dos grandes centros urbanos (NETO et al., 2009).

Usinas da região paraibana que sofreram com a seca nos últimos anos contavam com uma produção de 5,8 milhões de toneladas, entretanto com uma maior distribuição de chuvas esse ano podem obter uma produção de mais de 6 milhões de tonelada em 2017, atingindo taxa de crescimento de 13,5% (CONAB, 2017). Área plantada na Paraíba aumentou apesar das dificuldades causadas devido ao recente período de estiagens e falta de tecnologia ser empregada no campo, foi de 122,35 mil hectares para 124,40 mil hectares e a produtividade passou de 43.180 kg/ha¹ para 47.221 kg/ha¹, o que representa um pequeno crescimento por reflexos da seca que assolou a região (CONAB, 2017).

Para tanto, torna-se imprescindível, estudos que viabilizem o crescimento da produtividade, a redução dos custos e dos impactos ambientais, uma vez que práticas de manejo adequadas são indispensáveis para a manutenção e expansão das áreas plantadas (RODRIGUES, 2014).

3.2 Condições de colheita e influência nos atributos físicos

O corte manual da cana de açúcar é um sistema ainda muito utilizado, sendo efetuado após a queima. O efeito dessa prática agrícola é muito contestada por provocar danos ao meio ambiente através de gases lançados no momento da queima. Sendo um problema socioeconômicos e ambiental que atraia a atenção para a cultura (MORAES et al., 2007).

De acordo com Salvi et al. (2007) a colheita mecanizada está relacionada às interações do solo, planta e máquina, que podem influenciar no resultado das perdas em campo, como redução na qualidade da matéria-prima e a longevidade do canavial que é importante manter um canavial sadio e longo. A colheita mecanizada é mais interessante economicamente podendo garantir maior sucesso no ganho econômico. O tipo de colheita da cana de açúcar interfere na produção e longevidade da cultura, podendo alterar atributos físicos, químico e biológico (SOUZA et al., 2006).

Na colheita mecanizada a cana de açúcar é colhida crua sem queima de resíduos culturais propiciando melhores condições físicas do solo, como a estabilidade de agregados, aumento da macroporosidade, redução na resistência a penetração, aumento da permeabilidade, bem como redução da amplitude térmica e manutenção da umidade do solo, fatores que vão aumentar o potencial produtivo da cultura (TIM, 2002).

O uso contínuo do solo e a utilização de máquinas tais como tratores, transbordos e colhedoras que possui maior massa e se aplicado de forma descontrolada é responsável pelo aumento da densidade e da resistência do solo, diminuição da macroporosidade e condutividade hidráulica (ROQUE et al., 2011).

A adoção de práticas que venham permitir melhorias na estrutura física do solo e a redução da compactação do solo que apresentará menor resistência a ruptura do solo no tráfego das máquinas, a maior mobilidade dos implementos acarreta na melhoria do potencial de tração do solo com maior firmeza sobre as linhas que são trafegadas (ROQUE, 2010).

A ausência de compactação pode atingir também a produtividade e o ganho econômico do produtor, os mapas de produtividade fornecem parâmetros que levam a identificar e corrigir as causas de baixos rendimentos em determinadas áreas e buscar entender a razão do alto rendimento em outras (SPEZIA et al., 2012).

Para um sistema de agricultura de precisão realmente eficaz, mapas de produtividade são de fundamental importância, visto que concebem a informação da resposta da cultura para adequadas estratégias de manejo (MOLIN et al., 2012). Segundo Morales et al. (2010) o manejo da cana-de-açúcar envolve um processo periódico de coleta e análise de dados que levam a otimização na tomada de decisão, por isso a aplicação de técnicas de variabilidade espacial depende da escala de campo e rentabilidade.

3.3 Atributos físicos e compactação de solo em área sob colheita manual e mecanizada em solo Paraibano do tipo Argissolo acinzentado

Com o aumento das máquinas e dos implementos agrícolas em solo com condições de umidade que favorecem o processo de degradação física especialmente em áreas cultivadas com cana de açúcar, podem ser favoráveis a erosão e conseqüentemente diminui a produtividade do canavial (ROQUE et al., 2011). O uso intensivo da mecanização é o principal responsável pelo aumento da resistência e de densidade do solo (SILVA et al., 2011).

A compactação diminui a infiltração, além de aumentar o escoamento superficial de água no solo dificultando o crescimento das raízes e diminuindo a absorção de nutrientes, afetando o rendimento e aproveitamento da cultura (LUCIANO et al., 2012). As operações de preparo do solo e tráfego de máquinas são realizadas aplicando-se pressões superiores à capacidade de suporte de carga, para um dado teor de umidade do solo (DIAS JUNIOR; PIERCE, 1996; DIAS JUNIOR, 2000). O uso de operações mecanizadas realizadas em curto espaço de tempo na cana-de-açúcar é prejudicado pelo uso inadequado do solo em decorrência das alterações físicas do solo (SOUZA et al., 2005), o processo de compactação do solo resultante da colheita mecanizada em solos do tipo argissolos acinzentados verificaram que o processo de compactação depois da colheita pode provocar reduções na colheita e qualidade do solo.

O solo por ser heterogêneo e apresenta variações dos seus atributos físicos, a qualidade desses atributos propicia condições adequadas para o crescimento e o desenvolvimento das plantas e para a manutenção da diversidade de organismos que habitam o solo (DORAN e PARKIN, 1994).

No solo, existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. Assim, qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade (BROOKES, 1995).

A textura é um atributo que apresenta as proporções relativas as frações areia, silte e argila, em razão das suas propriedades químicas e físicas o tamanho das partículas do solo interfere diretamente no grau de compactação, na disponibilidade de água, na dosagem de nutrientes. A textura afeta a adesão e coesão entre as partículas, afetando diretamente a resistência do solo a tração, além da dinâmica da água no solo (ARSHADET et al., 1996).

A densidade do solo é um atributo que tem forte influência, na produtividade das culturas (SILVA, 1986). Os solos apresentam, na camada superficial maiores valores de densidade e microporosidade e menores valores para macroporosidade e porosidade total, isso devido ao arranjo natural do solo, quando não é mobilizado, o transito de máquinas e implementos agrícolas provoca uma pressão no solo (VIEIRA, 1981; VIEIRA & MUZILLI, 1984; CORRÊA, 1985). A densidade do solo, é afetada por cultivos que alteram a estrutura e com isso provoca o desarranjo e o volume dos poros, essas alterações afetam propriedades físico-hídricas (TORMENA, 1998; SOUZA, 2001).

A diminuição da porosidade do solo se dá pela compactação a qual destrói a estrutura do solo. A porosidade é responsável por um conjunto de fenômenos, tais como, retenção e fluxo de água e ar. O espaço no solo não ocupado por sólidos e ocupado pela água e o ar compõem o espaço poroso, definido como sendo a proporção entre o volume de poros e o volume total de um solo que é de extrema importância para física do solo (REINERT; REICHERT, 2006).

O preparo mecanizado aliado ao cultivo intenso do solo com cana-de-açúcar favorece a compactação das camadas superficiais do solo, causando prejuízos diretos na produtividade das culturas. A capacidade que o solo tem de sofrer compactação é devido as alterações em atributos físicos, fatores de eluviação da argila do horizonte superficial, em razão da dispersão da argila (SILVA et al., 1998). O fenômeno da dispersão-floculação é influenciado pela matéria orgânica do solo (GOMES et al., 1994). Visto que a fração areia pode se arranjar, mas facilmente que a argila podendo interferir no sistema radicular da planta.

Com o aumento do cultivo da cana-de-açúcar provoca o uso excessivo do solo, através de máquinas e implementos agrícolas, que é responsável pelo aumento da densidade e resistência do solo, diminuição da macroporosidade e condutividade hidráulica, que causam a compactação do solo (ROQUE et al., 2011), esses fatores provocam a redução da produção da cana de açúcar em vista que a modificações no comportamento físico, essas alterações influencia diretamente na aeração, atividade microbiana, mineralização do carbono e a infiltração e o movimento de água no perfil do solo (CARVALHO et al., 2008).

A produtividade e viabilidade econômica se dá em diferentes sistemas de preparo do solo, sistemas que provocam a degradação da estrutura do solo tem efeitos negativos nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, com prejuízos ao desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, na produção agrícola (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

A mecanização agrícola representa um fator de grande importância para o planejamento rural em termos de custo, podendo ser um fator limitante para produção. Pesquisas realizadas para avaliação da qualidade física do solo, além de extremamente importantes, são amplamente difundidas na literatura mundial (VASCONCELOS et al., 2014). Isso se dá, em virtude das metodologias de baixo custo e das induções na produtividade das culturas e na sustentabilidade dos ecossistemas (CARDOSO et al., 2013).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local e solo

O estudo foi realizado em três áreas de produção de cana-de-açúcar na Fazenda Santa Emília II, pertencente à Usina Miriri e Bioenergia S/A, localizada no município de Rio Tinto e a terceira na Fazenda Maria da Luz I, situada entre os municípios de Capim, Santa Rita e Sapé, estado da Paraíba (Figura 1). Que foram analisadas no Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solo e Engenharia Rural, da Universidade Federal da Paraíba - DSER/CCA/UFPB.

O clima das áreas estudadas, de acordo com a classificação de Köppen é do tipo. As tropicais chuvosas, com verão seco. O período chuvoso tem início em janeiro e término em setembro, concentrando-se entre abril e julho. A precipitação média anual é de 1600 mm. A temperatura média anual do município oscila em torno de 26 °C.

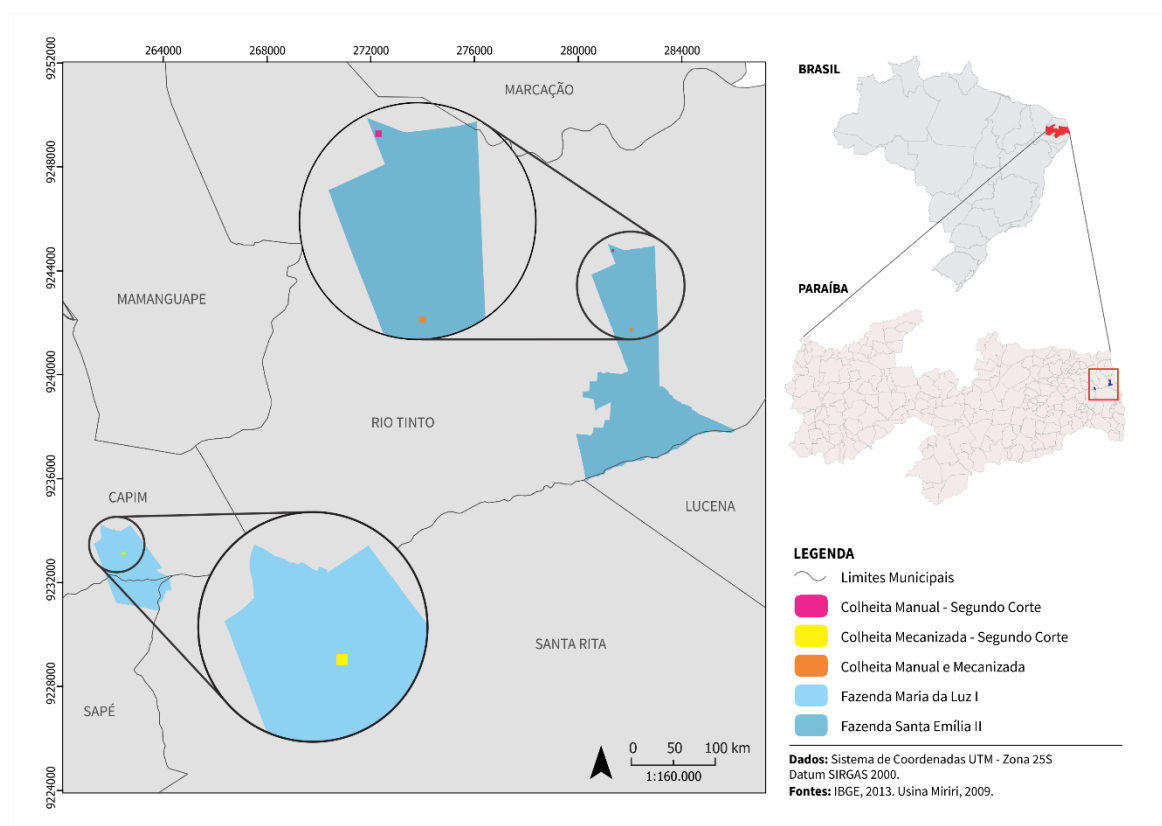


Figura 1. Localização das áreas de coletas contidas nas Fazendas Maria da Luz I e Santa Emília II (SOUZA, 2017)

As áreas estão inseridas na mesorregião da Zona da Mata Paraibana e na microrregião do Litoral Norte, sendo responsáveis pela maior produção de cana-de-açúcar do estado. O solo das três áreas foi classificado como Argissolo Acinzentado.

Na ordem de solo foram selecionadas três áreas de diferentes condições de uso: I. Colheita manual – segundo corte, II. Colheita mecanizada – segundo corte e III colheita manual e mecanizada.

4.2- Amostragem da área

As amostras de solos indeformadas foram coletadas utilizando-se amostrador de Uhland em anéis volumétricos com 5 cm de diâmetro e 5 cm de altura. As amostras deformadas foram armazenadas em sacos plásticos.

O perímetro das áreas selecionadas foi levantado com receptor de navegação da marca Garmin modelo GPSMAP® 76CSx. Para amostragem adotou-se malhas regulares no espaçamento de 40 x 40 m em áreas de 100 x 100 m, e os pontos localizados nos cruzamentos das malhas foram georreferenciados (Figura 2).

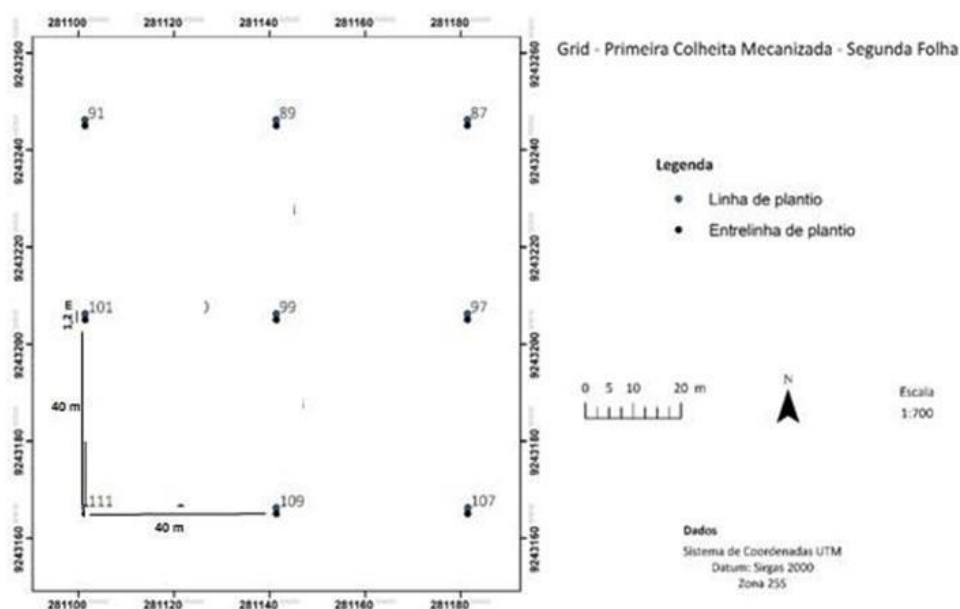


Figura 2. Distribuição dos pontos de amostragem em malha regular.

Em cada ponto foram coletadas amostras de solo indeformadas e deformadas na entrelinha e na linha do plantio para determinações nas camadas de 0-10 cm e 10-20 cm de profundidade (Figura 3).



Figura 3. Área de cana-de-açúcar com destaque para entrelinhas de plantio (SOUZA, 2017).

Por se tratar de um talhão sistematizado, a distância entre entrelinha e linha mais próxima foi de 1,2 m. Foram coletadas 09 amostras para cada condição de profundidade.

4.3- Caracterização física do solo

4.3.1. Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica dos solos amostrados foi realizada pela distribuição de diâmetro de partículas primárias, conforme o método do Densímetro (Hidrômetro de Bouyoucos) (DONAGEMA et al., 2011), usando hidróxido de sódio (NaOH-1N) como agente dispersante mais agitação mecânica.

Por se tratar de uma variável que apresenta pouca variação, foram geradas amostras compostas para cada linha e entrelinha das áreas.

4.3.2. Argila dispersa em água e grau de floculação

A argila dispersa em água foi obtida por meio da análise granulométrica do solo, conforme o método de Bouyoucos (DONAGEMA et al., 2011), porém, sem o

uso do dispersante químico. Para a argila total foi utilizado o mesmo procedimento anterior, porém, usando hidróxido de sódio (NaOH – 1 mol L⁻¹) como agente dispersante.

O grau de floculação será obtido da seguinte forma:

$$Gf = \frac{Arg - Arg_{H2O}}{Arg} \times 1000$$

Onde Gf é o grau de floculação (g kg⁻¹), Arg é o teor de argila dispersa em hidróxido de sódio – NaOH (g kg⁻¹), e Arg_{H2O} é o teor da argila dispersa em água (g kg⁻¹).

4.3.3. Densidade e porosidade total do solo

No laboratório, as amostras foram saturadas com água destilada, por um período de 48 horas, e colocadas sob uma tensão de -6 kPa em mesa de tensão. Após estabilização do peso na mesa, as amostras foram secas em estufa, a 105°C, até peso constante. De posse dos pesos saturado, seco e após equilíbrio a -6 kPa, determinou-se a densidade do solo e porosidade total, de acordo com a Donagema et al. (2011).

4.3.4. Resistência a penetração

A determinação da resistência a penetração foi realizada em cada ponto amostral, até 60 cm de profundidade, a partir de um penetrômetro de impacto modelo Stolf. O equipamento constitui-se de um peso (4 kg), responsável por provocar o impacto no solo, além de uma haste e um cone para a penetração no solo. Foram registradas a quantidade de impactos e a penetração (metros) que a haste obteve nas camadas de solo, posteriormente os valores de resistência a penetração foram convertidos em unidades de Mpa.

A RP foi determinada com o auxílio de um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planausucar-Stolf (STOLF et al., 1983), a transformação de penetração na unidade de cm impacto⁻¹ para MPa, ou seja, resistência à penetração foi procedida de acordo com Stolf (1991):

$$RMPS = \left[\frac{Mg + mg + \left(\frac{M}{M+m} \times \frac{Mg \times h}{X} \right)}{A} \right] \times 0,098$$

onde: RP - resistência mecânica do solo à penetração; M - massa do êmbolo, 4,03 kg; g - aceleração da gravidade; m - massa do aparelho excetuando o êmbolo, 3,24 kg; h - altura percorrida pelo êmbolo, 0,56 m; x - penetração do cone no solo, cm/impacto; A = Área basal do cone (m²).

4.3.5. Umidade gravimétrica do solo

Em cada área selecionou-se uma linha e uma entrelinha para a abertura de pequenas trincheiras que permitissem a coletas de solos as profundidades de 0-10, 11 – 20, 21 – 30, 31 – 40, 41 – 50, 51 – 60 cm, totalizando 9 amostras que foram utilizadas para obter a umidade gravimétrica do solo no momento da coleta e correlacionar com as medidas de resistência a penetração.

4.3.6. Geração de mapas

Os mapas de resistência a penetração para foram elaborados pelo método IDW (interpolação ponderada pelo inverso da distância).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um atributo importante para melhora interpretação dos resultados obtidos na análise de Resistência a penetração (RP) é a textura do solo. As três áreas apresentaram um alto teor de areia, limitando-se as classificações em arenosa e areia franca (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização granulométrica, argila dispersa em água (argila natural), grau de flocculação e classificação textural para as áreas de colheita manual; mecanizada; manual e mecanizada de cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros da Paraíba

Profundidade	Granulometria			Argila Natural	Classe Textural	Grau de Floculação
	Areia	Silte	Argila			
- cm -	-----g kg ⁻¹ -----					%
Colheita manual						
Linha de plantio						
0 – 10	907	36	57	0	Areia Franca	100
10 – 20	898	28	75	0	Areia Franca	100
Entrelinha de plantio						
0 – 10	898	37	65	0	Arenosa	100
10 – 20	900	32	68	8	Arenosa	85
Colheita mecanizada						
Linha de plantio						
0 – 10	839	35	126	0	Areia Franca	100
10 – 20	847	41	122	0	Areia Franca	100
Entrelinha de plantio						
0 – 10	848	23	129	0	Areia Franca	100
10 – 20	840	40	120	5	Areia Franca	95
Colheita manual e mecanizada						
Linha de plantio						
0 – 10	856	32	112	0	Arenosa	100
10 – 20	876	19	102	0	Areia Franca	100
Entrelinha de plantio						
0 – 10	856	42	102	0	Arenosa	100
10 – 20	881	24	95	0	Arenosa	100

As amostras dos solos apresentaram baixo valor de argila natural, o que acarretou em valores altos grau de flocculação (GF) para as três áreas.

Tanto as análises de argila natural como o grau de flocculação fornecem subsídios para determinar se o solo está sujeito à erosão. A menor tendência a

erosão e desagregação se dá devido ao maior grau de floculação do solo (SOUZA,2017).

Nas áreas estudadas, os valores de densidade do solo (DS) aumentaram de acordo com a profundidade (Tabela 2).

Para a densidade de partículas (DP), o processo foi similar, menos para as entrelinhas da CME e CMM. Com exceção da profundidade de 0 – 10 da entrelinha de plantio da CMA, os valores de DS foram maiores nas entrelinhas. Esses valores entram em concordância com os resultados obtidos para RP, visto que a DS é um atributo importante nos estudos de compactação e seu aumento também está associado ao intenso uso da mecanização.

De acordo com Viana et al. (2011), diferente da DS a densidade de partículas (DP) é um atributo mais estável, com isso as alterações no uso e manejo do solo não interferem em seu comportamento.

Os menores valores de Densidade do solo são encontrados em superfície ocorrendo alteração em grande escala de tempo, pois de acordo com Centurion (2007), o teor de matéria orgânica (MO) influencia e tende a ser maior nessas camadas. Os solos arenosos apresentam menor volume de poros, por isso apresentam DS maior que os argilosos, assim vale o conhecimento e a importância sobre a textura e outras variáveis que possam interferir na interpretação dos resultados.

Segundo Reichert et al. (2003), em solos arenosos uma DS considerada crítica para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas está acima de $1,75 \text{ g cm}^{-3}$, portanto as densidades encontradas estão em um padrão aceitável para a natureza granulométrica do solo.

A porosidade total (PT) apresentou médias parecidas para as áreas de CMA e CMM, variando de 0,45 a $0,48 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, para a área de CME essa porosidade foi um pouco menor variando entre 0,35 a $0,39 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, vale ressaltar que os maiores valores de DS foram observados na CME, mostrando que esses atributos são inversamente proporcionais.

A textura em solos mais arenosos possuem maior condutividade comparados aos solos mais argilosos. Essa afirmação está em acordo com os dados obtidos nesse estudo, visto que os menores teores de argila foram encontrados para a área de CME. Podendo se dizer que quanto maior a resistência a penetração, maior a densidade do solo, menor a macroporosidade e condutividade hidráulica.

Tabela 2. Valores de densidade do solo, densidade de partícula e porosidade total para as áreas de colheita manual; mecanizada; manual e mecanizada de cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros da Paraíba

Profundidade	Densidade		Porosidade Total
	Solo	Partícula	
- cm -	----- g cm ⁻³ -----		- m ³ m ⁻³ -
Colheita manual			
Linha de plantio			
0 – 10	1,36	2,58	0,47
10 – 20	1,39	2,61	0,47
Entrelinha de plantio			
0 – 10	1,34	2,56	0,47
10 – 20	1,42	2,59	0,45
Colheita mecanizada			
Linha de plantio			
0 – 10	1,43	2,30	0,37
10 – 20	1,56	2,57	0,39
Entrelinha de plantio			
0 – 10	1,63	2,60	0,37
10 – 20	1,66	2,59	0,35
Colheita manual e mecanizada			
Linha de plantio			
0 – 10	1,31	2,53	0,48
10 – 20	1,37	2,59	0,47
Entrelinha de plantio			
0 – 10	1,42	2,60	0,45
10 – 20	1,46	2,57	0,43

Para a área de CME os maiores valores de umidade, tanto para linha, como para a entrelinha de plantio foram encontrados nas camadas que vão de 41 a 60 cm, demonstrando um maior conteúdo de água em profundidade, que pode aferir sobre a boa percolação no perfil do solo. Para essa área o índice de RP atinge seu ponto máximo na camada de 31 – 40 cm e tem uma leve queda nas camadas seguintes, o que mais uma vez comprova a relação entre umidade e RP. A variação

entre CME e CMM foi bem pequena, demonstrando maiores semelhanças entre as duas áreas (SOUZA,2017).

Os mapas apresentados nas Figuras 4, 5, 6, 7, 8 e 9 consistem do produto final da distribuição espacial. Essa superfície interpolada apresenta a distribuição espacial de cada variável, comparando a RP na linha e entrelinha de plantio em suas respectivas profundidades. Assim tornou-se possível identificar a localização e a abrangência de valores extremos.

A área de CMA apresentou os maiores valores de RP dentre as três áreas. De acordo com Vepraskas (1994) quando os valores de RP ficam acima de 2 Mpa, o crescimento radicular é considerado limitante para a maioria das culturas, de acordo com Otto et al. (2011), até mesmo para a cana-de-açúcar. Porém, não se encontra na literatura uma padronização quanto o valor limitante de RP para a cana-de-açúcar.

Gonçalves et al. (2014) encontraram o valor de 2,5 MPa, enquanto Cavalieri et al. (2011) utilizaram 3,0 MPa. Vale ressaltar que, a resistência do solo a penetração exercida pela haste tem tendências a superestimação, pois não necessariamente representa a resistência que as raízes imprimem (VAN LIER e GUBIANI, 2015).

As áreas de CME e CMM foram similares, apresentando baixa RP nas camadas mais superficiais (0 – 30 cm) e com valores crescentes nas profundidades maiores. Os maiores valores nas camadas subsuperficiais podem ser explicados pelo manejo adotado no cultivo.

O uso contínuo de arado e grade para o preparo do solo resolve o problema de compactação em superfície, porém a transfere para as camadas da subsuperfície, que de acordo com Silva (1992) são chamadas de “pé-de-arado” ou “pé-de-grade. Para a descompactação dessas áreas faz-se necessário o uso constante da operação de subsolagem.

Diferente da CMA, a CME e CMM apresentaram valores médios de RP maiores na entrelinha de plantio, o que pode ser explicado por ser a parte que mais sofre os efeitos da compactação impostas pelo intenso tráfego de máquinas. Enquanto a CMA apresentou ápices de valores médios na casa de 4,36 Mpa que podem ser considerados limitantes ao crescimento radicular, segundo Otto et al. (2011). Os valores médios para as demais áreas obtiveram um padrão satisfatório.

A aplicação do método de distribuição espacial da resistência do solo a penetração, a partir da detecção de dependência espacial e da adoção dos modelos teóricos ajustados para cada variável, foram gerados os mapas de isolinhas para cada área e suas respectivas profundidades, com as distribuições espaciais da RP para as áreas estudadas e seus respectivos valores de média (Figuras 4, 5, 6, 7, 8, e 9), é possível perceber que partes consideráveis ficam acima ou abaixo desse valor, o que leva a constatação de que adotar a média para representar toda a área não é adequado. Além de mostrar as diferenças estruturais existentes entre essas partes, causados pelos impactos de compactação que resulta do frequente tráfego de máquinas agrícolas sobretudo nas entrelinhas de plantio.

A distribuição espacial da RP, é dependente de fatores de formação do solo e fatores relacionados com o manejo do solo (SOUZA et al., 2001). E foi feito ajustes dos mapas detectaram dependência espacial da variável RP em praticamente todas as condições, o que se torna uma limitação. No campo, a RP é bastante variável, sendo muito influenciada pelas condições do manejo dado ao solo e à intensidade de tráfego das máquinas agrícolas e é dependente da umidade do solo

Os valores de RP não demonstraram a ocorrência de zonas compactadas, consideradas impeditivas ao crescimento radicular. Para a entrelinha de plantio das áreas de CME e CMM os valores médios de RP foram maiores que para a linha. A umidade variou inversamente a RP, ou seja, os maiores valores de RP foram encontrados em áreas com menor conteúdo de água no solo.

O efeito de camadas de maior estado de compactação na variabilidade espacial da resistência à penetração foi verificado por ABREU (2000). Portanto, mostrou a importância da distribuição das amostras nas áreas de estudo de forma a considerar os efeitos provocados sobre linhas ou entrelinhas de plantio podendo levar a interpretações tendenciosas, como observado nos mapas (SOUZA, 2017).

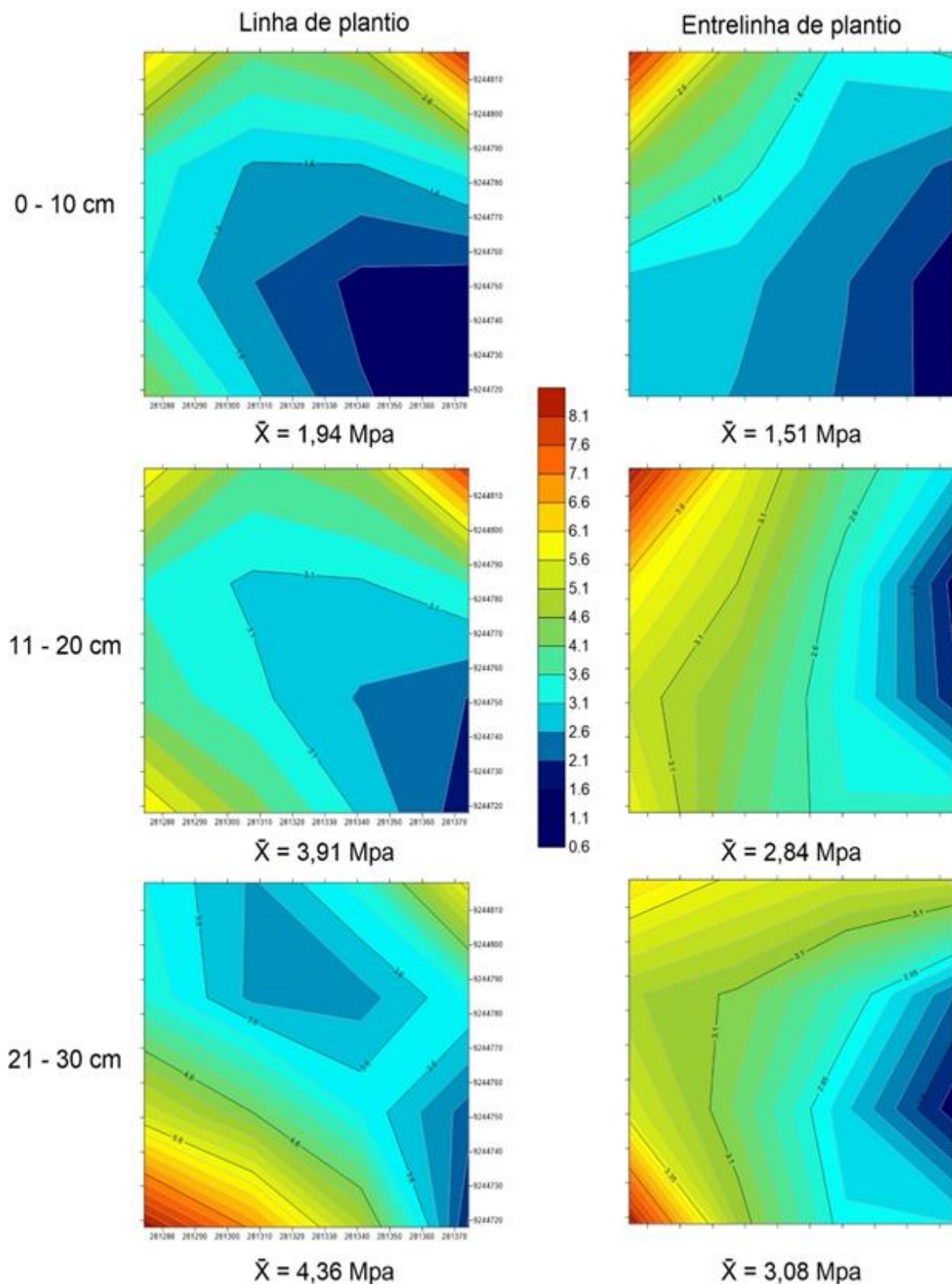


Figura 4. Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (0 – 30 cm) para a área de colheita manual.

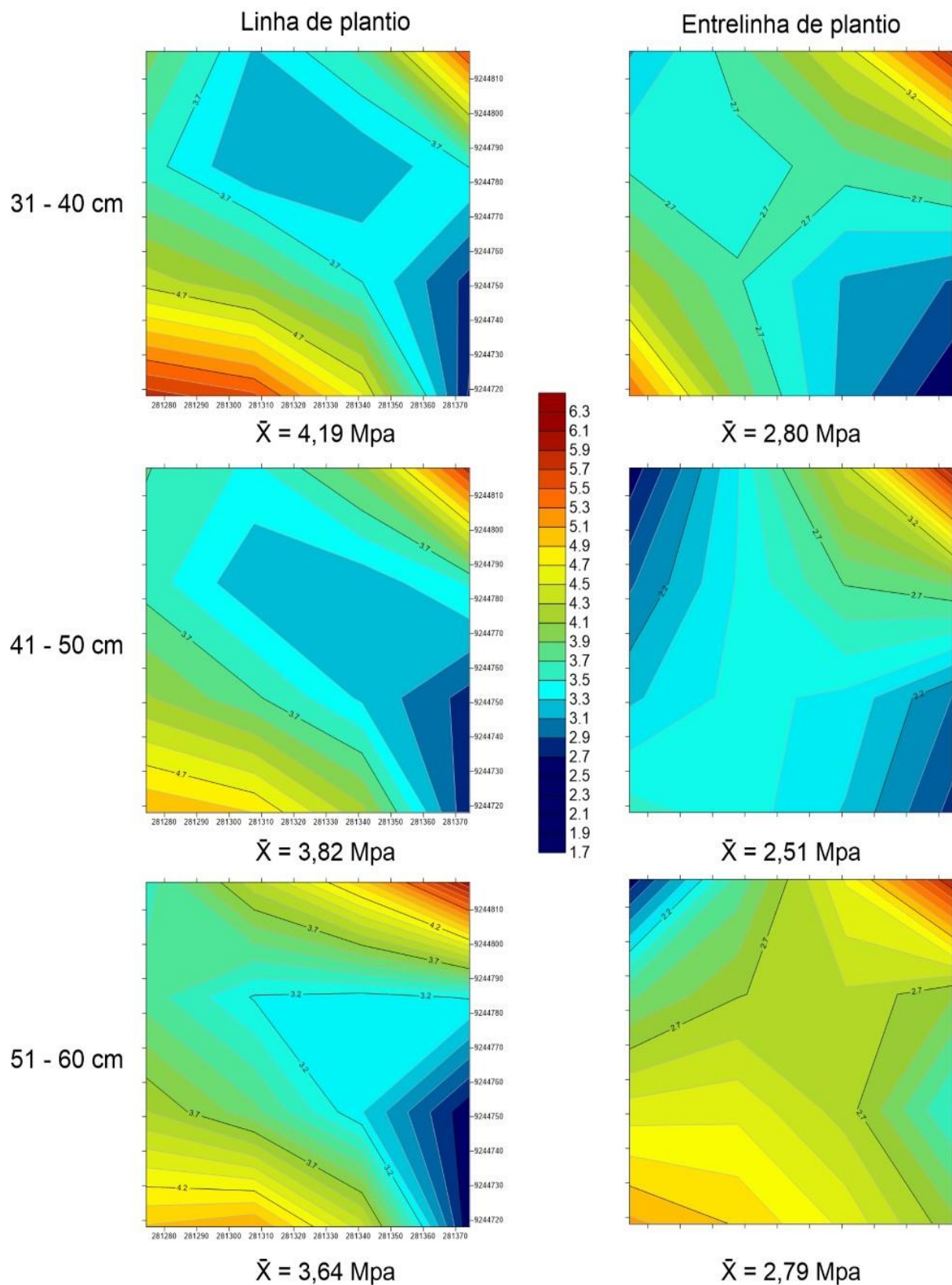


Figura 5. Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (31 – 60 cm) para a área de colheita manual.

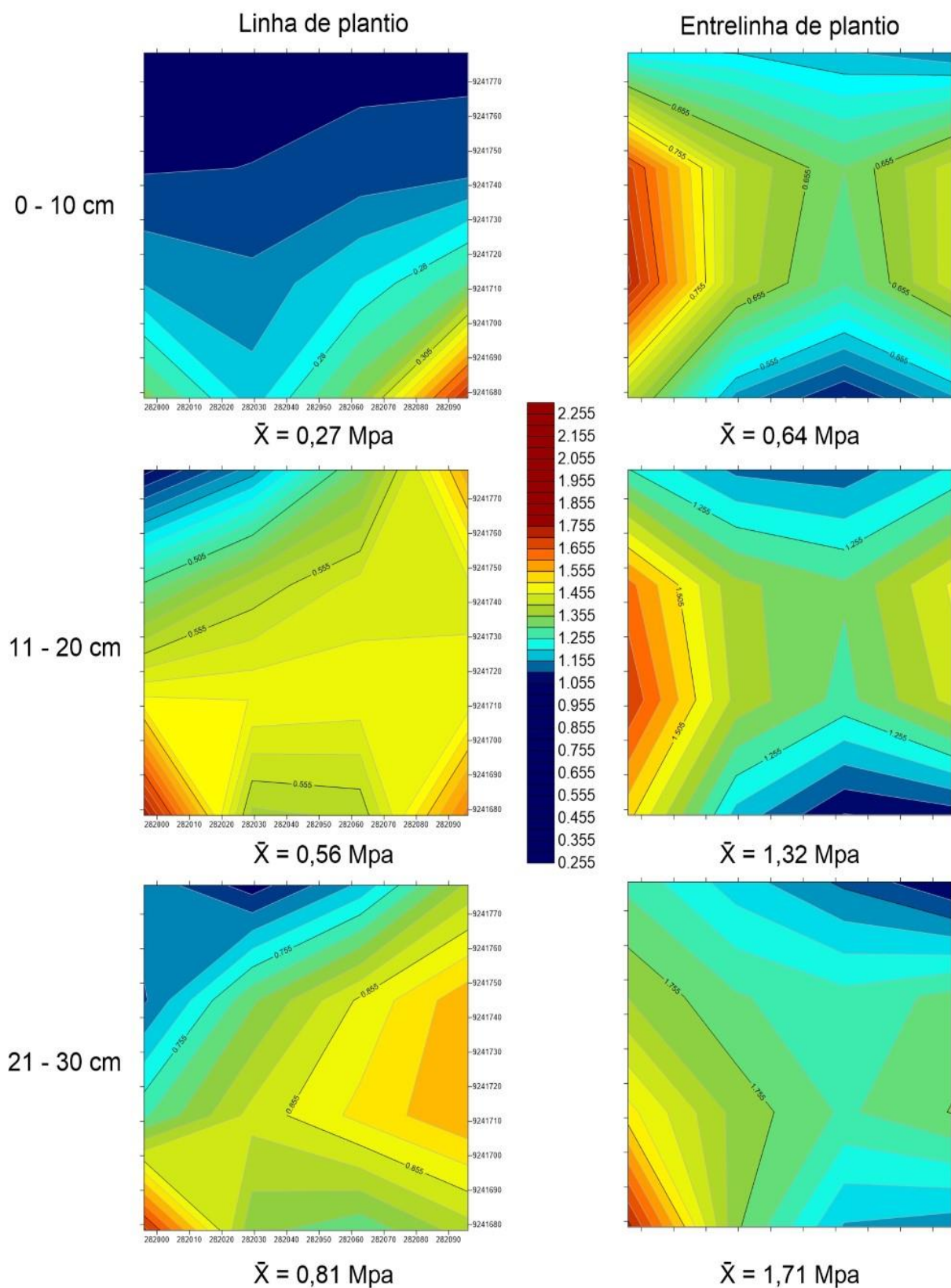


Figura 6. Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (0 – 30 cm) para a área de colheita mecanizada.

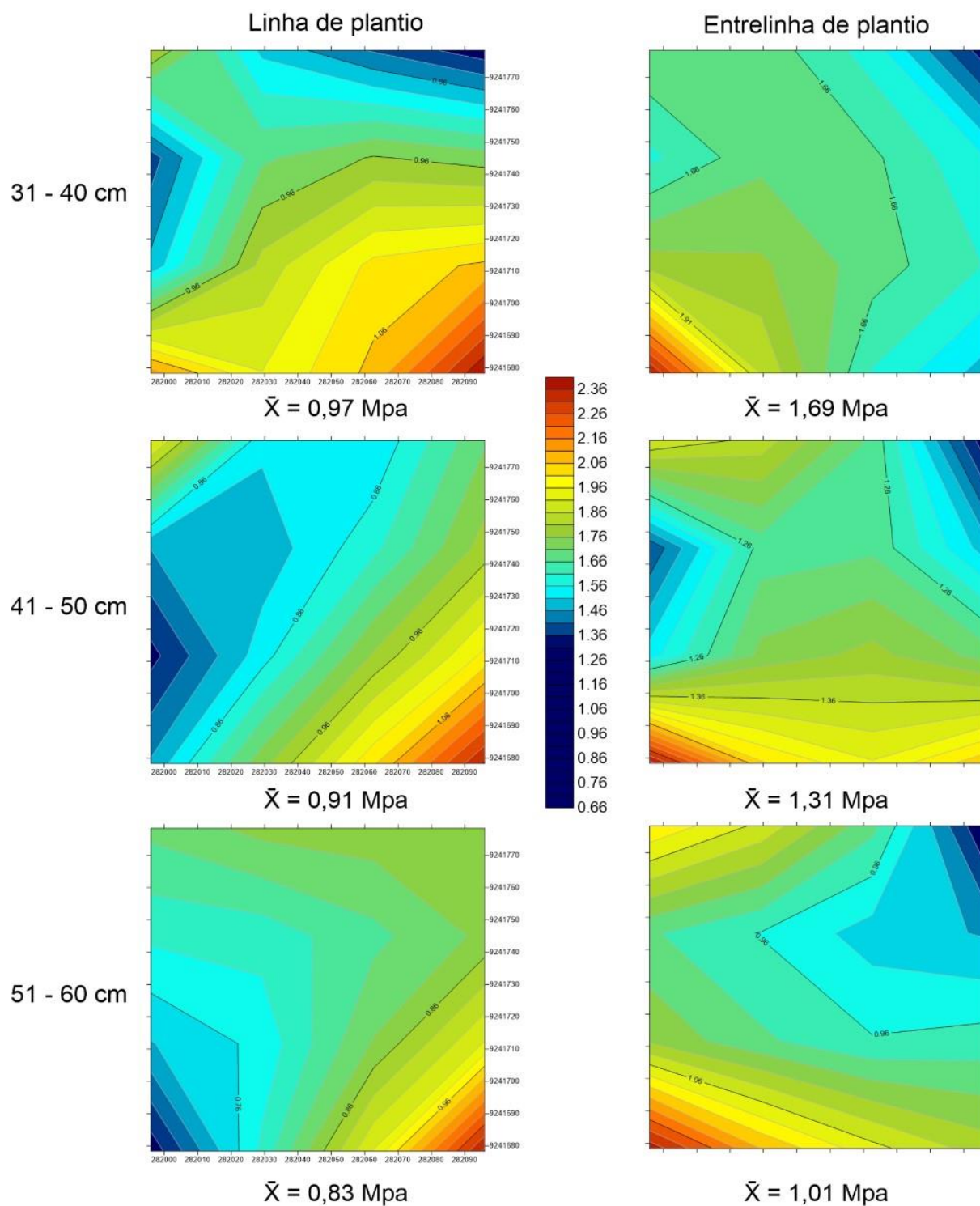


Figura 7. Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (31 – 60 cm) para a área de colheita mecanizada

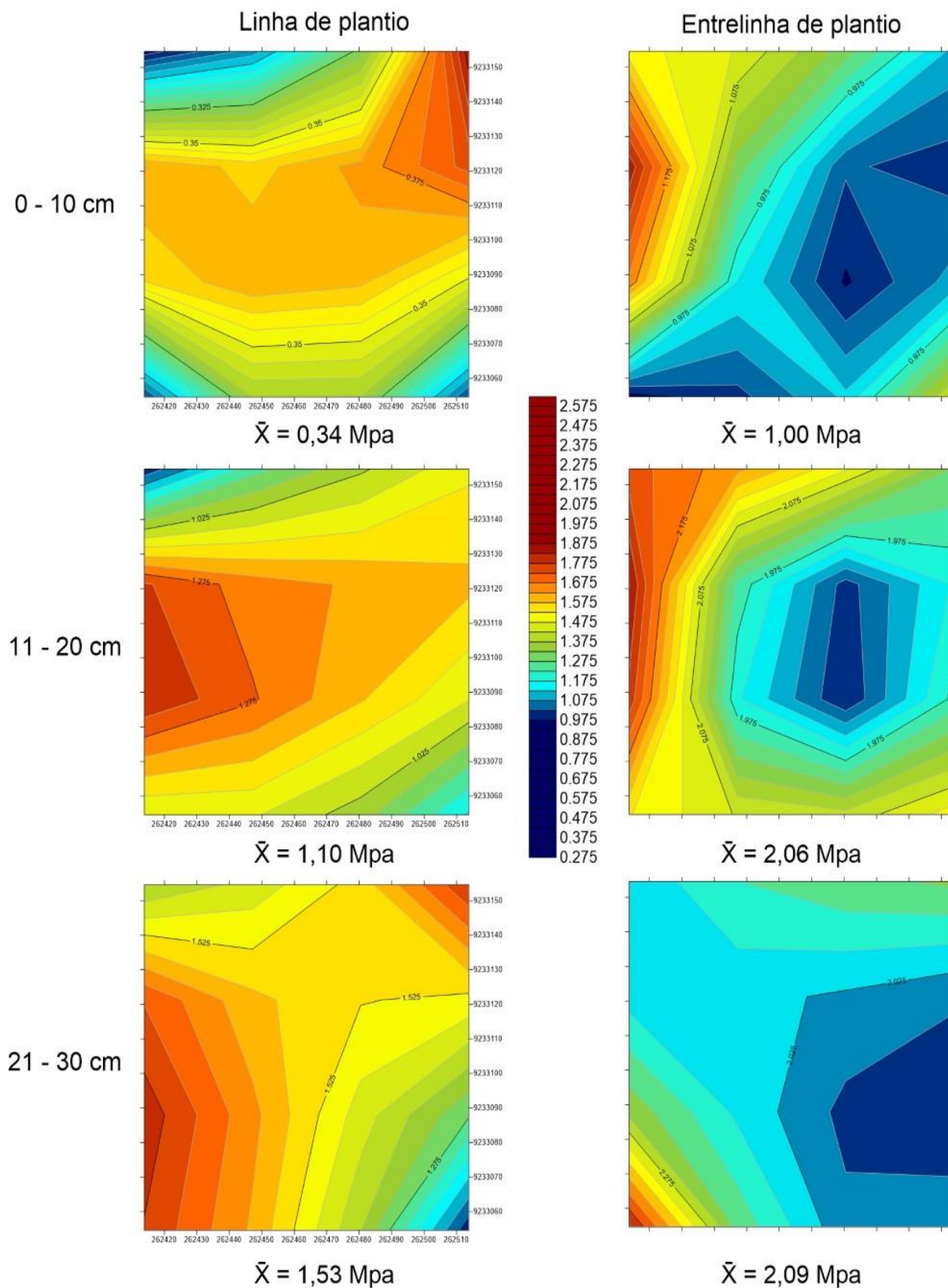


Figura 8. Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (0 – 30 cm) para a área de colheita manual e mecanizada

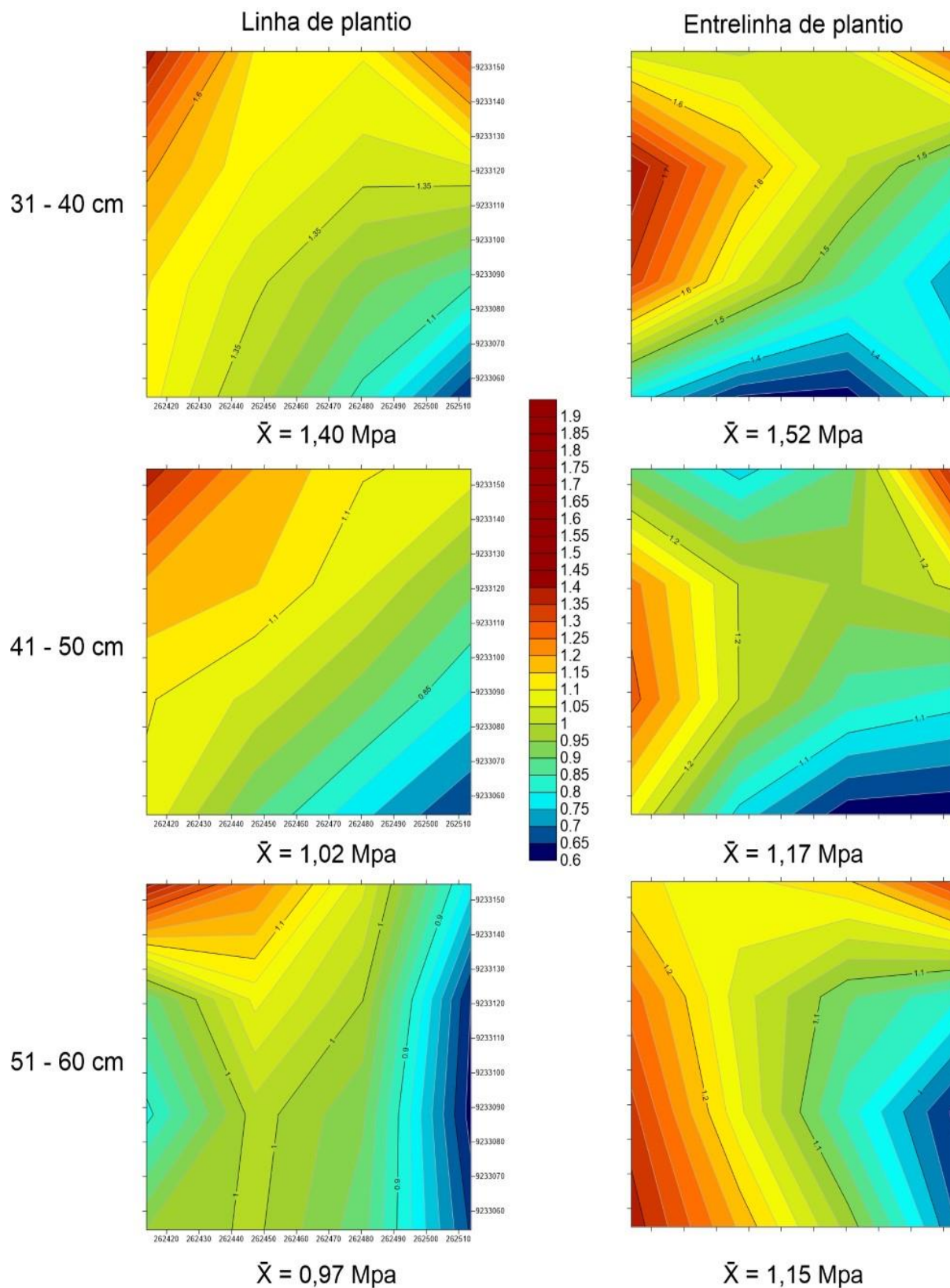


Figura 9. Interpolação espacial da resistência do solo a penetração (RP) comparando dados de linha e entrelinha de plantio em diferentes profundidades (31 – 60 cm) para a área de colheita manual e mecanizada

A partir da Tabela 3. pode-se comparar os valores de umidade gravimétrica do solo no período da coleta. Observa-se que a CMA obteve os menores valores, variando de 0,02 a 0,04 kg kg⁻¹, sendo assim os altos valores encontrados de RP para essa área, o resultado corrobora com os encontrados por Carvalho Filho et al. (2004), segundo os autores, a RP tende a variar inversamente ao conteúdo de água no solo, ou seja, quanto menor a umidade, maior a resistência do solo a penetração.

Tabela 3. Umidade gravimétrica do solo para as áreas de colheita manual; mecanizada; manual e mecanizada de cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros da Paraíba

Profundidade	Linha de plantio	Entrelinha de plantio
- cm -	----- kg kg ⁻¹ -----	
Colheita manual		
0 – 10	0,02	0,02
11 – 20	0,02	0,02
21 – 30	0,02	0,03
31 – 40	0,03	0,04
41 – 50	0,04	0,04
51 – 60	0,04	0,04
Colheita mecanizada		
0 – 10	0,07	0,07
11 – 20	0,07	0,08
21 – 30	0,09	0,09
31 – 40	0,11	0,11
41 – 50	0,12	0,13
51 – 60	0,13	0,14
Colheita manual e mecanizada		
0 – 10	0,08	0,11
11 – 20	0,08	0,10
21 – 30	0,07	0,10
31 – 40	0,08	0,11
41 – 50	0,08	0,10
51 – 60	0,08	0,10

6. CONCLUSÕES

Os valores de resistência à penetração são variáveis de acordo com as profundidades, geralmente, nas camadas subsuperficiais é aquelas que sofrem com efeito do tráfego de máquinas.

A amplitude de valores encontrados para a variável de resistência do solo a penetração (RP), demonstra a importância do estudo de variabilidade espacial, pois a média não é suficiente para representar a distribuição espacial dessa variável, principalmente em áreas de elevada variabilidade da resistência a penetração, como a CMA.

A área de colheita manual (CMA) apresentou os maiores valores de RP dentre as três áreas estudadas. As áreas de colheita mecanizada (CME) e manual e mecanizada (CMM) seguiram padrão similar, apresentando baixa RP nas camadas subsuperficiais, com valores crescentes em profundidades maiores e os valores de RP não demonstraram a ocorrência de zonas compactadas, consideradas impeditivas ao crescimento radicular.

Considerando a textura arenosa dos solos estudados, os valores obtidos para RP não são considerados críticos, ou seja, não interferem negativamente no desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L.S. Propriedades hídricas e mecânicas afetadas por sistemas de manejo e variabilidade espacial de um Argissolo. 2000. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.
- ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of America, v. 49, p. 123-141, 1996. (SSSA. Special publication).
- BRAUNACK, M.V.; ARVIDSSON, J.; HAKANSSON, I. Effect of harvest traffic position on soil condition sand sugarcane (*Saccharum officinarum*) response to environmental conditions in Queensland, Australia. Soil and Tillage Research, v. 89, p. 103-121, 2006.
- BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biol. Fert. Soil and Tillage Research, v. 19, p. 269-279, 1995.
- CAMPOS, D.C. Potencialidade do sistema de colheita sem queima da cana-de-açúcar para o sequestro de carbono. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", p. 103, 2003. (Tese de Doutorado).
- CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; REZENDE, C.E. & SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhicho e adição de vinhaça por longo tempo. (SOLO, 2003).
- CARDOSO, E. J. B. N. et al. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? ScientiaAgricola, Piracicaba, v. 70, n. 4, p. 274-289, 2013.
- CARVALHO FILHO, A.; SILVA, R. P.; FERNANDES, A. L. T. Compactação do solo em cafeicultura irrigada. Uberaba: UNIUBE, 2004. 44 p. (Boletim Técnico, 3).
- CARVALHO, L. A. et al. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP) sob cultivo de cana-de-açúcar, no município de Rio Brilhante-MS. Revista Agrarian, Dourados, v. 1, n. 2, p. 7-22, 2008.
- CAVALIERI, K. M. V. et al. Qualidade física de três solos sob colheita mecanizada de cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.35, p.1541-1549, 2011.
- CENTURION, J. F. Influência do cultivo da cana-de-açúcar e da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de latossolos vermelhos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, p. 199-209, 2007.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar. Safra 2016/17 - Terceiro levantamento. Brasília, v.1, n. 3, 2016.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Perfil do Setor do Açúcar e do Etanol no Brasil. Edição para Safra 2014/15. Brasília, p. 1-64, 2017.

COSTA NETO, J. D. da. A cana em tempo bom. *Revista CREA-PR*, Curitiba, n. 41, p. 16-19, out. 2006.

DALCHIAVON, F. C. et al. Inter-relações da produtividade de cana soca com a resistência à penetração, umidade e matéria orgânica do solo. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 61, n. 2, p. 255-264, 2014.

DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. Revisão de literatura: O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 20, p.175-182, 1996.

DIAS JUNIOR, M.S. Compactação do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.V. & SCHAEFER, C.E.G.R. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.56-94, 2000.

DONAGEMA, G. K. et al. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, P. 230, 2011.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; CELEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, p. 3-21, 1994.

GOMES, P. C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L. M.; FORTES, M. P. F. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução de húmus e sua relação com grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Município de Viçosa, Minas Gerais. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 41, p. 223-233, 1994.

GRAY, G.R.; MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Suspensão pantográfica para corte de base de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v.39, p.766-771, 2009.

IAIA, A. M.; MAIA, J. C. S.; KIM, M. E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, p.523-530, 2006.

LUCIANO P., et al. (2012) RPA facilitates telomerase activity at chromosome ends in budding and fission yeasts. *EMBO J* 31(8):2034-46

MOLIN, J. P. et al. Yield mapping, soil fertility and tree gaps in na Orange orchard. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Cruz das Almas, v. 34, n. 4, p. 1256-1265, 2012.

MORAES, M.A.F.D. Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de- -açúcar do Brasil no período de 1992-2005. *Estudos Econômicos*, v.37, p.875-902, 2007.

MORALES, L. A. et al. Spatial and temporal variability of Eh and pH over a rice field as related to lime addition. *Bragantia*, Campinas, v. 69, p. 67-76, 2010.

NETO, J. A. L., et al. Caracterização e gênese do caráter coeso em latossolos amarelos e argissolos dos tabuleiros costeiros do estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, 2009.

NOVA CANA. A produção de cana-de-açúcar no Brasil (e no mundo). Disponível em: <<https://www.novacana.com/cana/producao-cana-de-acucar-brasil-e-mundo/>>. Acesso em 08 de outubro de 2017.

PACHECO, E. P.; CANTALICE, J. R. B. Compressibilidade, resistência a penetração e intervalo hídrico ótimo de um argissolo amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos tabuleiros costeiros de Alagoas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 403-415, 2011.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Editora Manole Ltda, p. 188, 1990.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria - Centro de Ciências Rurais, 2006. Disponível em: <[http://portais.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo](http://portais.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solotexto.pdf)>f>. Acesso em 04 jan. 2018.

RODRIGUES, K. M. Variabilidade espacial de atributos físicos, químicos e biológicos do solo e a produtividade da cana-de-açúcar. 2014. 176 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agrônomo, Campinas, 2014.

ROQUE, A. A. O., et al. Controle de tráfego agrícola e atributos físicos do solo em área cultivada com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.45, p.744-750, 2010.

SACHS, R. C. C.; MARTINS, V. A. Análise da cultura de cana-de-açúcar, por escritório de desenvolvimento rural, estado de São Paulo, 1995-2006. *Informações*, São Paulo, v.37, 2007.

SALVI, J. V.; MATOS, M. A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de cortes de base de colhedora de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.27, p. 201-209, 2007.

SEVERIANO, E.C.; OLIVEIRA, G.C.; DIAS JÚNIOR, M.S.; OLIVEIRA, L.F.C. & CASTRO, M.B. Pressão de preconsolidação e intervalo hídrico ótimo como indicadores de alterações estruturais do solo em decorrência das operações de colheita da cana-de-açúcar. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 32, p. 1419-1427, 2008.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p.921-930, 2006.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; MERMUT, A. R.; BENKE, M. B. Influência do cultivo contínuo da cana-de-açúcar em latossolo amarelos coesos do Estado de Alagoas: propriedade micromorfológicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 22, p. 515-525, 1998.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 10, p. 91-95, 1986.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S. Multivariate analysis and geostatistics of the fertility of a humic rhodic hapludox under coffee cultivation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 467-474, 2012.

SOUZA, MAÍRA DA CUNHA. Variabilidade espacial da resistência a penetração em solo sob diferentes condições de colheita de cana-de-açúcar. Areia - PB, Centro de Ciências Agrárias, UFPB, agosto de 2017. 45p. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Orientador: Prof. Dr. Flávio Pereira de Oliveira.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D. & CALDAS, R.C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP COESÃOEM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. Anais. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.169-190, 2001.

SOUZA, Z. M. Variabilidade espacial de atributos físicos em um latossolo vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, p. 699-707, 2001.

SOUZA, Z. M. et al. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 40, n. 3, p. 271-278, 2005.

SPEZIA, G. R. et al. Model to estimate the sampling density for establishment of yield mapping. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 16, n. 4, p. 449-457, 2012.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p.301-309, 1998.

VASCONCELOS, R. F. B. et al. Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 381-386, 2014.

VIEIRA, S. R. et al. Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data, In: ALVAREZ, V. V. H. et al. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-45, 2002.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, G.R. (Ed.). Tópicos em Ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, v.1, p.1-54, 2000.